



Septiembre 2013 No. 9

Ecología y sostenibilidad: del campo a la academia

La milpa modelo agroecológico

Sostenibilidad en las aulas de la UNAM

Evolución y regulación genética

SEMINARIOS

—FRONTERAS EN ECOLOGÍA Y EVOLUCIÓN— • 2013

William Hanage – Harvard University, USA

The power of many: Population genomics for epidemiology and ecology

27 de Septiembre

Noa Whiteman – University of Arizona, USA

The evolution of herbivory in insects: Insights from genomics

4 de Octubre

Simon Griffith – Macquarie University, Australia

Sexual selection on compatibility and incompatibility in some model Australian grass finches

7 de Octubre

Michael Travisano – University of Minnesota, USA

Experimental evolution of multicellularity

11 de Octubre

Lucia Loghman – Universidad de Sao Paulo, Brasil

Evolution and biogeography of the Bignoniaceae: Insights into the origin of the Neotropical Flora

18 de Octubre

Alex Mira – Centro Superior de Investigación en Salud Pública, España

Estudio del microbioma humano mediante estrategias metagenómicas y de secuenciación masiva

25 de Octubre

John Vandermeer – University of Michigan, USA

Teoría ecológica en agroecosistemas: el uso de matemática para educar la intuición

8 de Noviembre

Johnatan Levine – ETH, Zurich

Understanding biological invasions from introduction through spread

22 de Noviembre

Juha Merila – University of Helsinski, Finlandia

In the wake of the giants – uncovering the adaptive basis of population differentiation in sticklebacks

26 de Noviembre

Alexander Badyaev – Arizona State University, USA

Colors of the past: Ancient metabolic networks and contemporary avian evolution

29 de Noviembre

12:30 pm. Auditorio Carlos Vázquez-Yanes, Instituto de Ecología, UNAM

Transmisión en vivo

www.ecología.unam.mx
http://132.248.49.113:8080/ecología



@IEcologiaUNAM









Oikos= **es una publicación periódica del Instituto de Ecología de la UNAM. Su contenido puede reproducirse, siempre y cuando se cite la fuente y el autor. Dirección: Circuito Exterior S/N, anexo Jardín Botánico, C.U., Del. Coyoacán, C.P. 04510. México, www.web.ecologia.unam.mx. Cualquier comentario, opinión y correspondencia, favor de dirigirla a: Biol. Gabriela Jimenez C., al Apartado Postal 70-275, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México, D.F., o a los faxes: (52 55) 5616-1976 y 5622-8995. Con atención a: Programa de Difusión del Instituto de Ecología, UNAM.**











Editorial

A grandes males, grandes remedios

Luis Eguiarte Fruns y Clementina Equihua Z.

Con esta *Oikos* = concluimos una serie de tres números dedicados a los problemas ambientales y la sostenibilidad. En nuestro número anterior comentábamos los impresionantes efectos que han tenido las actividades humanas, y parafraseando a Julio César frente el río Rubicón, nos preguntábamos ¿habremos ya cruzado el umbral ecológico a partir del cual ya no podemos detener el deterioro ambiental?

En este número queremos ser más optimistas.

Si bien los problemas ambientales actuales son muy grandes, en estos años hemos avanzado en entenderlos e implementar marcos conceptuales para analizaros, que junto con amplias bases de datos y herramientas computacionales han permitido desarrollar estrategias para simularlos, controlarlos y revertirlos, que tal vez nos permitan alcanzar un desarrollo sostenible. Indudablemente la creatividad científica será fundamental en este camino.

Entre los ejes que nos van a permitir revertir estas tendencias de degradación ambiental, debemos mencionar la integración entre la teoría ecológica moderna y propuestas sostenibles de agricultura. Esta es la idea que desarrollan en este número dos investigadores jóvenes de nuestro Instituto, Mariana Benítez y Juan Fornoni en su artículo sobre las agroecología, la sostenibilidad y su potencial para ayudarnos a llegar como país a una seguridad alimentaria, y el planteamiento de un programa de investigación a lo largo de estas líneas en nuestro nuevo Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad, y del que se ha comentado en los editoriales de nuestros dos número pasados. Destaca el papel que el sistema de manejo tradicional mesoamericano, la milpa, puede jugar en desarrollar estas estrategias, y la importancia de estudiar a la milpa a la luz de la ecología y genómica moderna.

Para resolver los problemas ambientales, indudablemente, a la par que la investigación debemos de desarrollar programas serios de docencia al respecto a todos niveles. Es por eso que otra de las investigadoras más jóvenes de nuestro Instituto, Ana Escalante, junto con sus colaboradoras, nos relata sus experiencias en el diseño de un novedosos programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, que será nuestra punta de lanza en el futuro para alcanzar esta síntesis entre sostenibilidad y ecología moderna de primer nivel.

Buscando redondear estas ideas sobre la relevancia de la investigación en resolver los problemas ambientales, incluimos por un lado la reseña de un libro recientemente publicado por la UNAM donde se resumen los principales estudios nacionales sobre el cambio climático, y por el otro un breve resumen de los principales logros del recientemente celebrado IV Congreso Mexicano de Ecología, escrito por dos investigadores (Ana Laura Lara y nuestro querido colega el Dr. Miguel Equihua) de nuestra institución hermana, el Instituto de Ecología A.C., de Xalapa, Veracruz. El trabajo colegiado y colaborativo con los otros ecólogos del país será central para alcanzar nuestros objetivos de sostenibilidad y conservación del ambiente.

FOTO DE PORTADA: C. Loyola Blanco.



Por último, pero no menos importante, incluimos un interesante ensayo sobre la evolución de la forma y la genética del desarrollo por dos de nuestros creativos alumnos, Emiliano Rodríguez y Víctor Hernández, que redondea este número al narrarnos (entre otro puntos) el mito de origen del maíz según los antiguos mesoamericanos, y relacionándolo con análisis modernos de la evolución de su forma y la regulación genética.

Esperemos que los lectores disfruten este número tanto como los hicimos nosotros al editarlo, y que nos vuelvan a visitar en el siguiente número de *Oikos* =, donde rendiremos homenaje a Alfred R. Wallace, uno de los biólogos evolutivos más importantes de la historia, en el centenario de su muerte.



La milpa como modelo en agroecología: nuevas perspectivas hacia la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible

Mariana Benítez y Juan Fornoni

Entender al ecosistema para producir de manera sostenible

México, al igual que muchos otros países, enfrenta un conflicto que es el resultado en parte, de la forma en la que el ser humano ha usado ciertos conocimientos científicos y tecnológicos para producir alimentos y obtener materias primas de origen vegetal y animal. Se han deforestado grandes extensiones del planeta para extraer recursos maderables y aumentar la superficie de zonas destinadas a la agricultura y ganadería para producir alimentos. Este patrón no ha resuelto los problemas de alimentación en el mundo y sí, en buena medida, ha causado la destrucción, deterioro, erosión y fragmentación de hábitats, ocasionando a su vez la pérdida de la biodiversidad, de servicios ecosistémicos y otros problemas ambientales.

En este contexto surge la necesidad de preguntarse si debemos continuar produciendo alimentos de la forma que lo hemos hecho en las últimas décadas o si debemos desarrollar estrategias de producción primaria que garanticen la alimentación de todos y que al mismo tiempo contribuyan a hacer frente a los retos en conservación y restauración ecológica que plantea la actual crisis de biodiversidad.

La representante de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en México y diversos reportes sobre el tema (por ejemplo en *Maíz y biodiversidad. Efectos del maíz transgénico en México de la Comisión para la Cooperación Ambiental*) indican que la causa principal detrás de la actual crisis alimentaria en México (y en general en el mundo) no es un problema de producción– que en general es suficiente y en ocasiones excesiva– sino de equidad en el acceso a los alimentos. Consideramos entonces que la resolución de la crisis alimentaria dista mucho de solamente aumentar la productividad siguiendo un modelo de agricultura intensiva en ciertas zonas y de dedicar otras regiones intactas a la conservación de la vegetación primaria y de la biodiversidad en general. Por el contrario, proponemos que es necesario estudiar y desarrollar esquemas de producción agrícola y de conservación que contemplen que coexistan las áreas de uso agrícola y de vegetación primaria. Estos esquemas pueden contribuir a resolver la aparente disyuntiva entre producir alimentos accesibles y de calidad y conservar la biodiversidad. En otras palabras, el reto es producir alimentos de manera sostenible, minimizando los efectos negativos de ciertas prácticas agrícolas actuales en el medio ambiente.

Hace cerca de cuatro décadas surgió el concepto de *agroecología*, una disciplina que estudia los procesos ecológicos que operan en los llamados agroecosistemas, y aplica la teoría ecológica para el diseño, manejo, y producción en los sistemas agrícolas. Una de las premisas centrales de la agroecología es la de alcanzar la producción sostenible de alimentos aplicando el conocimiento científico multidisciplinario y considerando también el profundo conocimiento ecológico cristalizado en algunos de los modelos de agricultura regional desarrollados y mantenidos por diversos pueblos del mundo. Esta disciplina propone un esquema de producción agrícola en pequeña escala que permita maximizar la productividad a gran escala, reduciendo el uso de agroquímicos y otros insumos agrícolas (por ejemplo organismos modificados genéticamente y agroquímicos) que ponen en riesgo el medio ambiente afectando la calidad de los suelos, agua y salud humana, así como el mantenimiento de la diversidad genética y cultural en los centros de domesticación y de alta diversidad cultural como México. El reto de las prácticas agroecológicas es entonces aprovechar los servicios ambientales que provee la biodiversidad de los propios agroecosistemas y el paisaje ecológico en que están inmersos para aumentar al mismo tiempo la productividad y la capacidad de los sistemas agrícolas de amortiguar los efectos negativos de las perturbaciones o cambios ambientales (es decir incrementar su resiliencia), de manera que dependan poco de agregar insumos comerciales.

Agroecología, productividad y biodiversidad

Algunas de las experiencias documentadas por el Relator Especial de la ONU, Olivier De Schutter indican que al aplicar los principios y prácticas ageocológicas en 57 países en vías de desarrollo se pudo incrementar hasta en un 80% la productividad de ciertos cultivos. De hecho, algunos proyectos recientes en 20 países africanos mostraron que la productividad se duplicó luego de un período de entre 3 y 10 años de usar estrategias de manejo agoecológicas. Otra de las lecciones de la agroecología es que la relación entre tipos de agricultura y biodiversidad es bidireccional, como ilustramos con algunos ejemplos a continuación.

Actualmente no hay duda de que el manejo agrícola industrial afecta a la biodiversidad. Desde los años sesenta hay ejemplos del impacto negativo que tienen los plaguicidas y herbicidas sobre la diversidad de especies de plantas, insectos y aves. Pero el efecto de la agricultura sobre la biodiversidad podría ser positivo, como lo proponen Ivette Perfecto y John

Vandermeer en la obra Nature' s matrix : Linking agriculture, conservation and food sovereignty. Estos investigadores han estudiado cómo los agroecosistemas que contienen una amplia diversidad de plantas y animales pueden actuar como una matriz en la que las especies de ecosistemas vecinos pueden establecerse temporal o permanentemente, lo que permite que las poblaciones globales se mantengan en la estructura de parches y persistan en la escala del paisaje.

Por otra parte se sabe que la biodiversidad de los sistemas agrícolas y del paisaje en el que se insertan afecta la productividad y estabilidad de los cultivos ante distintos tipos de perturbaciones. Los estudios ahora clásicos de Helda Morales de ECOSUR mostraron que en los policultivos que alojan gran diversidad de insectos, los que en otras condiciones suelen ser plagas, están presentes pero los controlan otras especies, sin llegar a afectar la productividad. Esto coincide con resultados de ecología teórica y experimental que se basan principalmente en pastizales modelo, que sugieren que la productividad suele aumentar con la biodiversidad de un sistema. Otros estudios en agroecosistemas en los Andes colombianos indicaron que los cultivos de papa son más resilientes al daño por herbívoros conforme el porcentaje de tierras dedicadas a la agricultura a nivel regional disminuye y la cercanía con vegetación primaria aumenta. Este hallazgo fue de los primeros en demostrar que los servicios ecosistémicos que proveen los agroecosistemas dependen en buena parte, de la conservación de la biodiversidad dentro de la matriz del paisaje que rodea las zonas de cultivo.

El desarrollo científico y la evidencia en campo, han consolidado a la agroecología como un nuevo paradigma para garantizar la seguridad alimentaria en el mundo atenuando la pérdida de biodiversidad y sus efectos asociados.

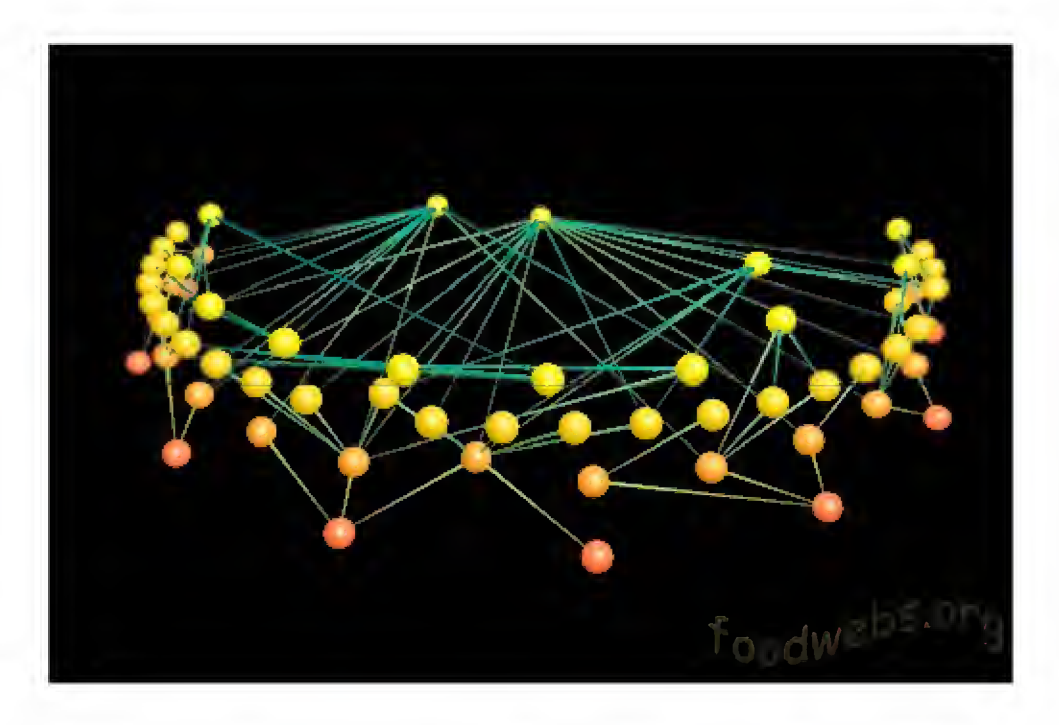


Ilustración que muestra el resultado de una simulación computacional de las cadenas tróficas de un pastizal en Inglaterra. El modelo usa datos obtenidos de 24 sitios de 1980 a 1992. Imagen: http://foodwebs.org/

Herramientas para estudiar la agroecología

En contraste con el estudio aislado de las características de los sistemas biológicos, un componente central de la agroecología ha sido el uso de nociones de la teoría de sistemas, y más recientemente, de las ciencias de la complejidad. Ambas se enfocan en el estudio interdisciplinario de la dinámica colectiva de los sistemas y de las propiedades que emergen o surgen del conjunto de interacciones entre los componentes del mismo.

La agroecología define a un agroecosistema como el resultado de la compleja interacción entre los factores biológicos, ambientales y del manejo humano en el predio agrícola y se le considera componente importante del paisaje ecológico. Entre las propiedades que parecen ser clave en los sistemas agroecológicos están la productividad en términos de biomasa (cantidad de productos que se cosechan), diversidad (número de especies que se cultivan, su función e interacciones) y estabilidad, entendida como la capacidad de respuesta ante perturbaciones de origen biótico y abiótico. De estas propiedades, ninguna puede rastrearse sólo a un elemento o especie del sistema, sino que surgen del conjunto de interacciones entre las especies que lo componen, por lo que es necesario adoptar enfoques integrales para el estudio y comprensión del funcionamiento de los agroecosistemas.

Dentro de las ciencias de la complejidad, se han usado modelos matemáticos y simulaciones computacionales que permiten seguir y entender el comportamiento y estructura de las redes que conforman todos los componentes de un ecosistema. En dichas redes, las poblaciones de las especies cultivadas y no cultivadas pueden representarse como elementos o nodos de la red, mientras que las relaciones que sostienen entre sí (como lo son las interacciones tróficas, de facilitación, mutualistas, etcétera) corresponden a líneas que unen a los nodos y que pueden ser negativas o positivas. Así, se puede obtener un modelo matemático que ayude a identificar cuándo es abundante una especie, dependiendo de cómo interactúe con el resto. Los modelos matemáticos ayudan a estudiar las interacciones entre numerosos elementos, tales como las especies de plantas cultivadas y animales, por lo que son una herramienta útil para estudiar la manera en que surgen propiedades globales de una comunidad ecológica, tales como la tolerancia a plagas o a cambios ambientales. Además, los modelos brindan herramientas para hacer experimentos en computadoras, poner hipótesis a prueba y generar predicciones novedosas. Este tipo de modelos ha ayudado a identificar además, características relevantes de las comunidades ecológicas, tales como su organización en subconjuntos llamados módulos. Estas propiedades pueden ser evidencia de que se asocian a la biodiversidad total de distintos tipos de sistema ecológicos, por lo que será un punto clave a considerar al estudiar la estructura y dinámica de las comunidades agroecológicas.

La milpa: sistema modelo en agroecología

F. Torres Torres explica en el artículo *Aspectos regionales de la seguridad alimentaria en México. Datos, hechos y lugares* que, en el caso de México, en 1990 el 32% de la población estaba en algún grado de inseguridad alimentaria, pero el porcentaje se elevó a cerca del 45% para el año 2000. Además, indica que la tasa de deforestación de los últimos 20 años muestra que el país pierde al año aproximadamente 400,000 hectáreas. Sin embargo, a la fecha no se han propuesto programas de desarrollo que promuevan prácticas agroecológicas para incrementar la calidad de vida de los estratos más pobres del país que son los que padecen de inseguridad alimentaria. Según datos de la FAO el 35% de los alimentos que se producen en México se desperdician por falta de condiciones adecuadas de transporte, almacenamiento y por despilfarro. Paralelamente, el Instituto



Interamericano de Cooperación para la Agricultura reveló que México importa alrededor del 67.9% del arroz, 42.8% del trigo, 31.9% del maíz que consume, entre otros productos básicos cuya producción nacional no alcanza para abastecer a la demanda interna. Este escenario revela que el país se enfrenta ante una crisis en la producción de ciertos alimentos y de acceso a otros, cuya solución requiere de una seria discusión sobre las políticas públicas para consolidar una estructura de producción de alimentos soberana, que combine de forma estratégica y sostenible, distintos esquemas de producción agrícola.

La milpa es el agroecosistema mexicano de mayor arraigo cultural, el más extendido y diverso, y que se practica desde hace miles de años. Es un policultivo de origen mesoamericano que se basa en el maíz, cuya superficie en general no excede las tres hectáreas. El policultivo de la milpa incluye, además del maíz, combinaciones de frijol, calabaza, chile, jitomate, tomate verde, hortalizas. También se aprovechan arvenses semidomesticadas (como por ejemplo diversos quelites), otras especies de plantas y numerosos grupos de insectos (herbívoros, polinizadores, etcétera) y las - aún muy poco estudiadas- comunidades microbianas. La milpa ha tenido un papel central en la diversificación de las especies vegetales que se le asocian y tanto las especies que crecen en ella como su dinámica, varían de manera importante en función de las condiciones culturales, climáticas y geográficas del país.

El 80 % de los productores mexicanos tienen propiedades menores de cinco hectáreas, escenario ideal para fomentar las prácticas agroecológicas de pequeña escala, beneficiando a una proporción importante de la población en zonas rurales marginales. Si bien algunos de estos pequeños predios se manejan siguiendo un esquema similar al de la milpa como la entendemos aquí, actualmente en la mayoría de ellos se siembra una versión en extremo simplificada de la milpa o incluso se practica el monocultivo agregándoles insumos comerciales (por ejemplo abonos y plaguicidas). La extrema simplificación o abandono del esquema milpa en estos predios responde a muchas causas, entre las que están un escaso apoyo estatal a los campesinos y productores que siembran en unidades agrícolas de pequeño tamaño, el apoyo estatal a las unidades productivas que siguen el esquema comercial de monocultivo para la producción de alimentos, la migración del campo a las ciudades, entre otras.

Consideramos que la milpa es un modelo de producción de alimentos que combinado con los descubrimientos recientes de la agroecología, ayudaría a garantizar la seguridad alimentaria, devolviéndoles a los agricultores y campesinos la soberanía sobre los productos alimenticios básicos, diversos y saludables. Al mismo tiempo, este modelo productivo adaptado a la diversidad de ambientes que tiene el país será fundamental para incrementar la superficie de siembra, reduciendo la dependencia de alimentos básicos importados.

Paralelamente, el fomentar la consolidación de la milpa como sistema productivo permitiría extender la superficie del país cultivada, sumándose o combinándose estratégicamente con áreas que actualmente se dedican a la agricultura intensiva o bajo un sistema productivo de monocultivo.

Un aspecto sumamente interesante de la milpa desde el punto de vista tanto teórico como aplicado, es que constituye una unidad ecológica evolutiva. Por lo que su estudio puede ayudar a responder ¿cómo las especies y variedades que se cultivan dentro de un agroecosistema autorregulan su abundancia espacial y temporalmente?, o ¿cómo se favorece la autodefensa en contra de insectos, otros consumidores y especies arvenses, que en sistemas de monocultivo frecuentemente se convierten en plagas o malezas? Este tipo de mecanismos defensivos a nivel de comunidad biológica



La agroecología estudia a los sistemas agrícolas, que son comunidades complejas en las que la biodiversidad tiene un papel central. En las milpas mexicanas se siembran cerca de 60 razas de maíz, cinco especies domesticadas de frijol y decenas de variedades. Todas son el resultado de la selección de semillas en diversas condiciones ambientales y culturales, y de coexistir con los ecosistemas de su entorno. Foto: M. Benitez



En México prevalecen los paisajes fragmentados en los que coexisten vegetación primaria y secundaria, Los esfuerzos de conservación y producción sostenible deben considerar estas condiciones espaciales complejas y las relaciones bidireccionales entre las poblaciones de los agroecosistemas y el resto del paisaje.La milpa ilustrada es de la Selva Lacandona, Chiapas. Foto: R. L. Martínez.

es el resultado de la historia de domesticación en escenarios ecológicos, donde los consumidores del maíz, calabaza, frijol, etcétera, han estado presentes por miles de años, y es una de las ventajas que hacen de la milpa un excelente punto de partida para aplicar los principios de la agroecología a escala regional. Entender y aprovechar estas propiedades, así como la relación de la diversidad biológica al interior y exterior de la milpa, es uno de los retos futuros: combinar prácticas agroecológicas tradicionales con aquellas derivadas de la agroecología moderna.

Agroecología en el Instituto de Ecología

Una de las líneas de trabajo que han comenzado a desarrollarse en el nuevo Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad del Instituto de Ecología de la UNAM consiste en realizar, en conjunto con grupos e investigadores de otros laboratorios e instituciones, estudios interdisciplinarios en agroecología utilizando a la milpa como sistema modelo para entender mejor sus propiedades globales, y para vincular los conocimientos



En el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad del Instituto de Ecología, UNAM, la investigación en agroecología se realiza desde una perspectiva multidisciplinaria usando herramientas experimentales, bioinformáticas y matemáticas. En la imagen, miembros del laboratorio toman muestras del suelo de milpas en la comunidad Vicente Guerrero, Tlaxcala. Foto: L. D. Alcaraz.



Es crucial el desarrollo de la agroecología urbana. Organizaciones como Hierba Buena Urbana buscan la seguridad alimentaria en ciudades, como en la de México en los que se conjunta conocimiento científico y empírico.

científicos con la solución de problemáticas nacionales, en este caso la seguridad alimentaria y la crisis de biodiversidad. Más concretamente, proponemos caracterizar y estudiar diversos modelos agroecológicos adaptados a condiciones locales. Esto, con el fin de identificar principios agroecológicos que contribuyan a diseñar estrategias de producción que puedan no sólo coexistir, sino incluso beneficiarse de la biodiversidad local y contribuir a su mantenimiento.

Estudiar a la milpa como agroecosistema modelo representa una oportunidad para abordar preguntas básicas en ecología de comunidades y de metacomunidades, en particular en las que la actividad humana representa un factor clave de su funcionamiento. Por ejemplo, estudiar si ciertos tipos de cultivos o policultivos que rodean a fragmentos de áreas naturales protegidas alojan temporalmente a polinizadores y otros animales y así facilitar el mantenimiento de la diversidad global de especies biológicas, tanto las cultivadas como las que estén en áreas de vegetación primaria. Pero sobre todo, el desarrollo de la agroecología y el estudio de la milpa como modelo representa una oportunidad para abordar preguntas fundamentales en torno a la conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados y complejos (esto es que incluyen infraestructura urbana, espacios agropecuarios y ecosistemas naturales) como los que hay en casi todo el territorio nacional, así como para incidir en el diseño de políticas públicas sobre producción agrícola sostenible. Estas estrategias derivadas del conocimiento agroecológico permitirían avanzar para garantizar que la población tenga acceso a una alimentación suficiente y saludable en la escala regional, incluso doméstica, Al mismo tiempo contribuyen a mantener la riqueza cultural que se asocia a la diversidad de productos agrícolas que por miles de años se han producido en las distintas regiones del país.

Para saber más

- Bascompte, J., 2010. Ecology. Structure and dynamics of ecological networks. *Science* (New York, N.Y.), 329: 765–6.
- Boege, E., 2010. *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*. INAH, México.
- García-Barrios, L. *et al.*, 2009. Neotropical Forest Conservation, Agricultural Intensification, and Rural Out-migration: The Mexican Experience. *BioScience*, 59: 863–873.
- Montoya, M., Pimm, S.L. and Sole, R.V. 2006. Ecological networks and their fragility. *Nature*, 442: 259–264.
- Poveda K., Martínez E., Kersch-Becker M.F., Bonilla M.A., Tscharntke T. 2012. Landscape simplification and altitude affect biodiversity, herbivory and Andean potato yield. *Journal of Applied Ecology*, 49: 513-522.
- Tilman, D. 2012. Biodiversity & Environmental Sustainability amid Human Domination of Global Ecosystems. *Daedalus*, 141: 108–120.
- Perfecto, I., J. Vandermeer y A. Wright. 2009. *Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*. Earthscan.

Juan Fornoni es Dr. en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México. Su laboratorio estudia la evolución fenotípica relacionada con las interacciones bióticas, en particular aquellas entre las plantas y los animales. Recientemente ha comenzado a integrar a la agroecología como línea de investigación para aplicar los conocimientos básicos en el control de la plagas en la agricultura.

Mariana Benítez es investigadora del Instituto de Ecología de la UNAM. Estudia diversos aspectos de la ecología, evolución y desarrollo de las plantas desde una perspectiva teórica y de sistemas complejos, usando principalmente herramientas de modelado matemático y computacional.

Las Ciencias de la Sostenibilidad en las Aulas de la UNAM

Ana E. Escalante, Lakshmi Charli-Joseph y María José Solares

Durante los últimos 100 años se han alcanzado elevados niveles de bienestar humano y se ha progresado enormemente en el conocimiento y desarrollo científico-tecnológico. Al mismo tiempo, es innegable que la humanidad enfrenta problemas de dimensiones sin precedentes y de urgente atención en los ámbitos social, económico y ambiental (Ver *Oikos*= No. 7: "Biodiversidad y Cambio Climático"). Estos escenarios de contraste llaman a la urgente necesidad de plantear soluciones prontas y eficaces que sean coherentes con las necesidades actuales sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras, en otras palabras lograr el tránsito a la sostenibilidad. Para avanzar en este camino se necesitan preparar profesionales con una visión global de los problemas prioritarios y con capacidades y habilidades para interactuar, entender e innovar a través del trabajo inter y transdisciplinario (Figura 1). Nos referimos a interdisciplina como la cooperación de individuos de al menos dos disciplinas, que buscan integrar objetivos comunes y la transdisciplina como una forma de interdisciplina en la que participan gobierno, sociedad civil o, en general, profesionales no científicos.

Una de las respuestas a los retos que impone el desarrollo sostenible es crear nuevos programas educativos a todos niveles. Entre estos esfuerzos se encuentran programas de posgrado en instituciones académicas de México y del extranjero. En los últimos 20 años, la UNAM ha reconocido el reto, y ha desarrollado varios esfuerzos en el ámbito de la enseñanza y formación de recursos humanos. Sin embargo, sólo tiene programas de estudio que dirigen la enseñanza para

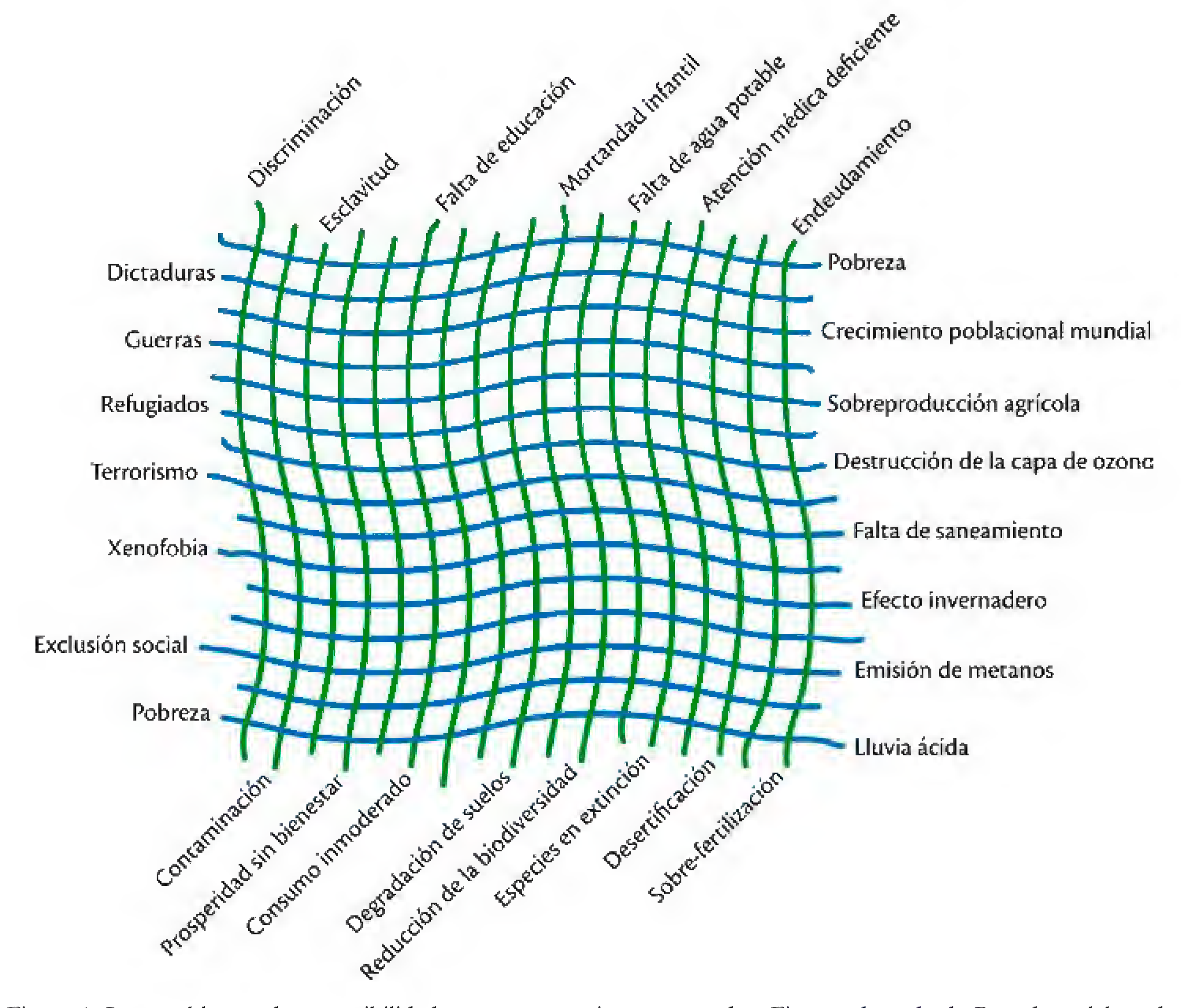


Figura 1. Los problemas de sostenibilidad se encuentran interconectados. Figura adaptada de Roorda y elaborada por S. Bourguet.

el tránsito a la sostenibilidad desde un enfoque especializado y disciplinario, ya sea desde las ciencias biológicas o desde las ciencias sociales, como por ejemplo los posgrados en Derecho, Economía y Ciencias Biológicas, que incluyen asignaturas en derecho ambiental, economía de los recursos naturales y desarrollo sustentable y manejo integral de los ecosistemas, respectivamente. Sin embargo, no existe a la fecha un programa académico de investigación y formación de recursos humanos que incorpore de manera sistemática e integral las corrientes de pensamiento más recientes sobre las ciencias de la sostenibilidad. Por lo tanto, la opciones de los posgrados mencionados, resultan limitadas si se pretende formar profesionales con una visión global de los grandes problemas de sostenibilidad que hoy enfrentamos.

La iniciativa del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad (PCS) surge en un contexto muy diferente. Por una parte, desde 2011 hay un marco de referencia de las ciencias de la sostenibilidad ya consolidadas como disciplina científica, y existen diversos casos en el mundo sobre esquemas de enseñanza en sostenibilidad. Por otra parte, la iniciativa se encuentra íntimamente ligada al proyecto del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS) de la UNAM el cual, como parte de su misión, impulsa específicamente la educación y creación de capacidades en materia de sostenibilidad.

El diseño de un plan de estudios en sostenibilidad

> El programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad impulsará un enfoque de aprendizaje innovador, que fomente la integración entre las disciplinas científicas y humanísticas. Así, contribuirá al desarrollo sostenible del país, con la visión de preservar de manera equitativa, justa y ética el patrimonio natural con los elementos naturales, sociales y económicos que constituyen el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

La creación de cualquier programa de estudios en sostenibilidad plantea grandes retos. En particular, la naturaleza compleja y transdisciplinaria de los problemas en sostenibilidad requiere de la participación de diversos actores, específicamente de la academia, gobierno y sociedad, por lo que resulta necesario que tanto académicos como representantes de instituciones de gobierno se involucren durante el proceso de creación del programa curricular y en la puesta en marcha del mismo. Es así que el PCS es el resultado del trabajo de académicos de más de 10 instituciones de la UNAM incluyendo varias facultades y escuelas, entre ellas el LANCIS, que trabaja en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como varias Facultades y Escuelas. Durante el proceso de diseño del nuevo posgrado participaron 44 académicos y profesionales de diferentes disciplinas y entidades dentro y fuera de la UNAM, que colaboraron en siete talleres donde se definieron la visión y misión del programa, los Objetivos de Aprendizaje del Programa (OAP), las actividades académicas y el mapa curricular. Un OAP se refiere a una conducta medible y observable que los estudiantes deben adquirir como resultado de un programa de aprendizaje satisfactorio.

Los estudiantes que serán los profesionales expertos en sostenibilidad obtendrán conocimientos y habilidades para identificar, enmarcar y abordar problemas científicos y prácticos desde una perspectiva sistémica, es decir, la habilidad para entender las causas fundamentales de problemas complejos de sostenibilidad que incluyen: 1) identificar cómo se relacionan entre sí las causas y los efectos, directa e indirectamente; 2) visualizar las acciones, motivos e intenciones de los actores que forman parte de la constelación de un problema; 3) entender las dinámicas, efectos en cascada, retroalimentaciones e inercias que se presentan en el planteamiento del problema. Así, serán capaces de: a) reflexionar en sistemas (analítica y holísticamente); b) reflexionar de manera novedosa, creativa y funcional; c) reflexionar de manera causal. Los profesionales en sostenibilidad también sabrán colaborar con profesionales de otras disciplinas y campos. Para desarrollar las habilidades necesarias se diseñó el currículum con un Método de Diseño Invertido que implica plantear en primer lugar los OAP y en función de éstos, reflexionar sobre los perfiles de los campos de conocimiento que deberán estar involucrados, así como los objetivos de las actividades académicas y sus contenidos.

Es importante mencionar que la formación de un profesional en sostenibilidad está respaldada por la adquisición de cinco componentes clave de aprendizaje: sistémico, estratégico, anticipativo, colaborativo y ético. Los cinco componentes han sido discutidos por diversos autores expertos en enseñanza de sostenibilidad y fueron cuidadosamente analizados e incorporados en los OAP (ver Figura 2) que son:

1. Evaluar y determinar qué investigación científica y conocimientos empíricos son relevantes para solucionar problemas relacionados con la sostenibilidad.
2. Proponer los principales puntos para abordar un problema y lograr transitar hacia la sostenibilidad, analizando su estructura y los agentes de transformación de los sistemas complejos.
3. Establecer un lenguaje común que facilite la comunicación y mediación entre disciplinas, así como entre los diversos agentes sociales, con el fin de lograr acuerdos que permitan transitar hacia la sostenibilidad.



Figura 2. Esquema de la relación que existe entre los elementos que conforman el diseño del programa: componentes clave de aprendizaje, Objetivos de Aprendizaje del Programa (OAP), campos de conocimiento, perfiles generales, perfiles por campo, preguntas y líneas de investigación y actividades académicas. La definición de los elementos del plan de estudios y su interacción fueron adaptados de Wiek y su equipo. Figura S. Bourguet.



4. Crear imágenes del futuro que ilustren las aspiraciones de bienestar de los grupos sociales para delinear posibles soluciones ante escenarios contrastantes.
5. Identificar y aplicar métodos cualitativos y cuantitativos que ayuden a construir conocimiento riguroso en un contexto de trabajo colaborativo.
6. Incorporar el concepto de ética de la sostenibilidad: obligaciones del individuo hacia la comunidad, considerando que los valores morales pueden ser distintos en el presente y en el futuro, para tomar decisiones que satisfagan las necesidades de la sociedad.

Es importante mencionar que los sistemas complejos a menudo tienen comportamientos impredecibles y propiedades que no aparecen sino hasta después de actuar en ellos. Estos comportamientos y propiedades se relacionan a lo que se denomina "propiedades emergentes". Paradójicamente, la definición de lo que es un sistema complejo no surge sino hasta después de que se han intentado formular algunas soluciones específicas. Así, las intervenciones en los sistemas complejos a menudo generan un nuevo comportamiento del sistema con consecuencias inesperadas y que generan nuevas clases de problemas.

El programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad

Objetivos de Aprendizaje del Programa (OAP)	Componentes				
	A Sistémico	B Ético	C Anticipativo	D Estratégico	E Colaborativo
1 Investigación científica y conocimientos empíricos	✓		✓	✓	
2 Principales puntos de intervención	✓	✓	✓		
3 Lenguaje común					✓
4 Imágenes del futuro			✓	✓	✓
5 Métodos cuantitativos y cualitativos	✓		✓	✓	
6 Ética de la sostenibilidad		✓			

OAP	Perfiles por campo					
	1	2	3	4	5	6
1		•	•			
2					•	
3				•		•
4	•		•			•
5		•				
6	•				•	

MAPA CURRICULAR

Actividades académicas	OAP					
	1	2	3	4	5	6
1		I	I			I
2	I	I		I	I	
3	I			I	I	
...	I		I			I
	R	R	R	R	R	R
...	R		R	R	E	R
...			R		E	E
...		R E		R E	R E	
...		R			R	
...		R		R	R	
...	R		R E	R		R
...	R		R		R	

I Introducir R Reforzar E Evaluar

Actividad académica	OAP					
	1	2	3	4	5	6
Tema 1		•	•			
Tema 2					•	
Tema 3						
...	•		•			•
...						
...	•				•	
...						
...				•		
...			•			

Figura 3. Relación entre las preguntas de investigación en sostenibilidad, los síndromes del cambio global y la formación de estudiantes del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad. Diversos autores han definido a los síndromes del cambio global o de la sostenibilidad como los problemas más urgentes del planeta (véase *Oikos*= 7). Las líneas de investigación están definidas por preguntas epistemológicas de la sostenibilidad de Kates y coautores. Figura S. Bourguet.



El posgrado incluye dos planes de estudios, uno de maestría y otro de doctorado. Aunque las metas son diferentes (ver Figura 3) los Objetivos de Aprendizaje del Programa son los mismos. En el caso de la maestría, se espera que los egresados trabajen en la academia, organizaciones civiles (ONGs) o entidades gubernamentales directamente relacionadas con el estudio y solución de problemas socio-ambientales. La sólida formación de estos profesionales será transdisciplinaria y tendrán la capacidad de planear, analizar, proponer e implementar políticas y proyectos que lleven a la sostenibilidad.

Para alcanzar las metas de esta maestría se diseñó un programa que abarcará seis campos de conocimiento, con los que los estudiantes profundizarán en conceptos y habilidades técnicas que se asocian conceptualmente con los grandes síndromes del cambio global o grandes retos en sostenibilidad (para su definición ver El cambio climático, un gran reto de sostenibilidad en *Oikos*= 7): 1) Contextos urbanos, 2) manejo de sistemas acuáticos, 3) política, gobernanza e instituciones, 4) restauración ambiental, 5) sistemas energéticos y 6) vulnerabilidad y respuesta al cambio global.

En el doctorado los egresados dominarán el conocimiento teórico de las ciencias de la sostenibilidad, sus metodologías y técnicas, con el objetivo de generar conocimiento novedoso en sostenibilidad en el ámbito de las preguntas de investigación propuestas por R. W. Kates y su equipo de trabajo (ver sección *"Para saber más"*). Así, en el plan de estudios se incluyen siete líneas de investigación derivadas de dichas preguntas, las que a su vez también se relacionan con los grandes síndromes del cambio global a) Cambio global, vulnerabilidad y resiliencia; b) Sistemas complejos adaptativos y planeación colaborativa; c) Políticas públicas, aprendizaje social y gobernanza; d) Dinámica de sistemas socioambientales acoplados; e) Límites, trayectorias y transición a la sostenibilidad; f) Monitoreo y evaluación de sistemas socioambientales; g) Urbanismo e infraestructura sostenible; y h) Diseño de sistemas sociotecnológicos.

Relevancia del programa

La educación es una herramienta fundamental para promover la transformación social que dirija el tránsito hacia un futuro sostenible, y ha sido así establecido por las Naciones Unidas (Woo *et al.*, 2012). De este modo, ni la UNAM como entidad educativa, ni sus académicos, pueden permanecer inmutables ante este reto. El programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, junto con otros esfuerzos como el LANCIS, y el proyecto de creación de la Licenciatura en Sostenibilidad en la Escuela Nacional de Estudios Superiores- Unidad León, son prueba del compromiso de la UNAM para lograr esta transformación educativa. El Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad responde directamente a los nuevos retos y desafíos que demanda la educación superior, tanto a nivel nacional como internacional, en el marco de equidad, justicia e igualdad social.

El objetivo general del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad es formar profesionales y científicos que dominen las bases conceptuales y metodologías de las ciencias de la sostenibilidad. Los egresados serán capaces de proponer soluciones a los problemas que obstruyen el tránsito hacia el desarrollo sostenible.

Para saber más

- Delila, R., A. Di Giulio. 2001. Inter and Transdisciplinary Processes – Experience and Lessons Learnt. Pp. 337-356, *en*: Changing Things – Moving People. Strategies for Promoting Sustainable Development at the Local Level 2001.(R. Kaufmann-Hayoz and H. Gutscher, eds.), Basel: Birkhäuser.
- Kates R.W., W.C. Clark, R. Corell, J.M. Hall, C.C. Jaeger, I. Lowe, J.J. McCarthy, H.J. Schellnhuber, B. Bolin y Dickson, N.M. 2001. Sustainability science. *Science*, 292:641-642
- Kates, R.W. 2011. What kind of a science is sustainability science? *Proc Natl Acad Sci USA*, 108: 19449-19450.
- Lüdeke, M., G. Petschel-Held y H.J. Schellnhuber. 2004. Syndromes of Global Change: The First Panoramic View. *GAIA*, 13: 42-49.
- Manuel-Navarrete, D., J.J. Gómez y G. Gallopín. 2007. Syndromes of sustainability of development for assessing the vulnerability of coupled human-environmental systems. The case of hydrometeorological disasters in Central America and the Caribbean. *Global Environmental Change*, 17: 207–217.
- Roorda N, 2012. *Fundamentals of Sustainable Development*. Routledge. New York. 384p.
- Woo, Y.L, M. Mokhtar, I. Komoo y N. Azman. 2012. Education for sustainable development: a review of characteristics of sustainability curriculum. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 3:33–44.
- Wiek, A., L. Withycombe y C.L. Redman. 2011. Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6: 203–218.

Ana E. Escalante. Bióloga y Doctora en Ciencias por la UNAM. Actualmente es investigadora en el Instituto de Ecología (UNAM) en donde investiga sobre la relación entre la biodiversidad y sus consecuencias en la función ecosistémica con énfasis en microorganismos.



Lakshmi Charlí-J. Bióloga de la UNAM, tiene una Maestría en Derecho, Gestión y Política Ambientales (UAX) y otra sobre Planeación y Gestión Ambiental en el Instituto de la UNESCO para la Educación del Agua (UNESCO-IHE, Holanda); sus trabajos de tesis fueron enfocados en política y gestión de cuencas mexicanas. Labora en el LANCIS en proyectos sobre gobernanza colaborativa y co-coordinando el área de educación y creación de capacidades.

María José Solares. Bióloga de la UAM Xochimilco, tiene una Maestría en Ciencias Biológicas (UNAM). Ha trabajado en diversos proyectos ambientales, principalmente de ordenamiento ecológico. Actualmente, labora en el Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad, co-coordinando el área de educación y creación de capacidades.



Relatos breves sobre evolución y regulación genética

Emiliano Rodríguez Mega y Víctor Hernández Marroquín

El titiritero genético

El viernes 11 de abril de 1975, se publicó en la revista Science un artículo que desafió una de las ideas predominantes en genética y evolución. A partir de la gran similitud entre secuencias de proteínas de chimpancés y humanos, especies muy cercanas pero con apariencias contrastantes, Mary-Claire King y su tutor de doctorado, Alan Wilson, llegaban a una conclusión innovadora: si la extrema variación morfológica entre ambos organismos no se correspondía con diferencias en sus proteínas, entonces el principal mecanismo de cambio evolutivo debería implicar variaciones en las secuencias reguladoras de sus genes.

Los genes están formados por dos tipos de secuencias: aquéllas que guardan la información codificada de la estructura de las proteínas –llamadas secuencias codificantes– y las que indican cuándo, dónde y con qué frecuencia se producirán –éstas son las secuencias reguladoras–. Cuando la maquinaria celular está leyendo y traduciendo la información de un gen, se dice que ese gen se está expresando.

El descubrimiento de Mary-Claire y Alan sugería que, durante la evolución de los seres vivos, las secuencias codificantes no son las únicas piezas en el tablero y, aún más, que son peones de una estrategia de juego más sofisticada.

Pero ese estudio no es el único en su tipo. En los últimos años se ha acumulado mucha evidencia que demuestra la importancia de la regulación genética para explicar, en numerosas casos, los cambios anatómicos y funcionales que se observan en los seres vivos.

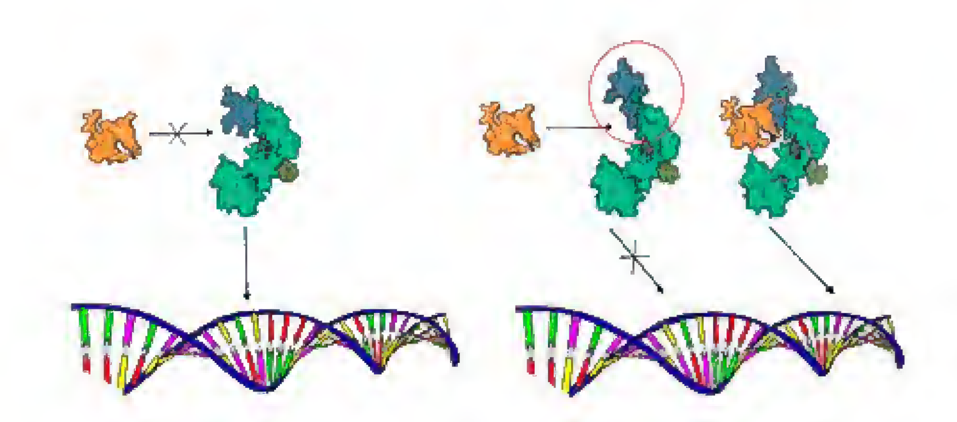
Para algunos escépticos, parecería que los cambios en la regulación de los genes no representa una causa suficiente para explicar cambios evolutivos de gran magnitud, como los que se observan entre humanos y nuestros parientes homínidos más cercanos. Ayudaría pensar, entonces, que en diversos aspectos la regulación genética se parece al teatro de títeres. Es decir, las marionetas (genes) no son tan importantes para la obra como lo es el titiritero (regulación genética), ya que es la regulación genética quien dota de movimiento y voz (patrones de expresión génica) para contar, a través de los genes, una historia (desarrollo y evolución). En nuestra metáfora el titiritero puede modificar, de manera ocasional, los diálogos y las acciones de los títeres entre una obra y otra, cambiando pequeños o grandes detalles de la historia que relata.

Existen dos mecanismos mediante los cuales se pueden "sacudir los hilos" de los genes que se están regulando.

El primero involucra mutaciones en regiones del gen conocidas como elementos cis-, que son secuencias de ADN no codificante a las que se les unen proteínas conocidas como factores de transcripción. El segundo mecanismo tiene que ver con alteraciones en los llamados factores trans-, representados en la gran mayoría de los casos por los mismos factores de transcripción, cuya función es controlar cómo se expresa el gen. Si cambia la manera en que esas proteínas se unen al ADN, o de interactuar con otras moléculas, es muy probable que la expresión de los genes que regulan también cambie en tiempo o en espacio.



Los cambios en elementos *cis-* son modificaciones en el ADN que pueden ocasionar que algunos factores de transcripción dejen de reconocer su sitio de unión o que otras proteínas se puedan unir a una región que antes no reconocían. Imagen E. Zluhan.



Los cambios en factores *trans-* implican modificaciones en la estructura de los factores de transcripción, de forma que pueden asociarse a nuevas proteínas con las que antes no interactuaban o perder la capacidad de acoplarse a otras con las que sí lo hacían. Además, los cambios en trans- también provocan que los factores de transcripción afectados se unan de manera distinta al ADN, como pasa con los cambios en cis-. Imagen E. Zluhan.

Tanto los estímulos ambientales como los mensajes celulares pueden ocasionar que un factor de transcripción active la expresión de cierto gen. La importancia de los factores de transcripción, entonces, es que conjuntan señales externas e internas y controlan las elegantes y complejas redes de regulación genética que están detrás del desarrollo de los seres vivos. Si la estructura de sus proteiínas es perturbada, sobrevienen consecuencias enormes durante los procesos del desarrollo. No sólo eso: algunos cambios en la regulación de los genes son capaces de crear variabilidad en las características fisiológicas y morfológicas de los organismos que se heredarán de una generación a otra, por lo que las consecuencias trascienden a la escala de la evolución.

A pesar de la extensa documentación de casos en los que el cambio de los organismos se debe a alteraciones en los elementos cis- o en los factores trans-, las interrogantes que aportan trabajos como los de Mary-Claire King y Alan Wilson aún sobrepasan por mucho a las respuestas que brindan. Esto ha conducido a controversias y discusiones que tratan de poner en su justa dimensión cuál de las dos vías de regulación genética es más relevante para crear novedades evolutivas. La solución a esta incógnita no parece encontrarse en el futuro cercano pero, por ahora, las cuantiosas historias de regulación y evolución con las que ya contamos nos han otorgado las bases para afirmar, contrariamente a lo que dijera en 1989 el famoso genetista James Watson, que nuestro futuro no está en nuestros genes o, por lo menos, no sólo está en nuestros genes.

Hombres de maíz, maíz de teocintle

En el principio de los tiempos, Tepeu y Gucamatz, la madre y el padre de la creación, se sintieron solos al no existir ningún ser que los adorara. Había, pues, que dar vida a los primeros humanos. En un primer intento, los dioses crearon al hombre a partir del barro. Al poco tiempo se dieron cuenta de que su creación era obsoleta: los hombres de barro rápidamente se humedecieron dentro del agua y no se pudieron sostener.



El maíz evolucionó a partir del teocintle, una planta con características muy distintas, debido a un cambio en cis- que modificó una secuencia reguladora del gen *tb1*. Esto ocasionó que las ramificaciones que salen del tallo central en el maíz fueran pocas y más pequeñas. Imagen E. Zluhan.

Los dioses no se dieron por vencidos y crearon a los hombres a partir del tzité –un árbol que conocemos como colorín–. Su nueva obra era ya capaz de ver, hablar y multiplicarse. Sin embargo, carecía de alma y cerebro, por lo que olvidaba rápidamente a sus creadores. Así, el hombre de tzité fue aniquilado por el Corazón del Cielo.

Cansados, los dioses creadores decidieron hacer un último intento y crearon a los hombres de maíz. De maíz blanco y amarillo se hizo su carne, y de la masa se formaron sus extremidades. Estos hombres fueron los primeros antepasados del ser humano.

Así cuentan las antiguas leyendas del Quiché cómo se creó al ser humano. Lo que no explica el Popol Vuh es cómo se originó la planta del maíz. Actualmente se sabe que su ancestro es el teocintle y, en comparación con este, el maíz tiene un número mucho menor de ramificaciones y presenta un gran tallo central donde se concentran casi todas sus hojas y flores (además de otras diferencias notables, como el tamaño y forma de semillas y mazorcas). El tipo de ramificación en el maíz domesticado se llama dominancia apical, y todo indica que es producto de una alteración en la expresión del gen teosinte branched 1 (*tb1*).

El gen tb1 inhibe la proliferación celular en los meristemos axilares: impide que se generen más células, lo cual se refleja en un crecimiento limitado. En el maíz, la expresión de *tb1* es mayor que en el teocintle de manera que las ramas secundarias, que brotan de los meristemos axilares, son muy escasas y pequeñas. Lo intrigante de la evolución de este rasgo es que las secuencias de aminoácidos de *tb1* de maíz y de teosinte son prácticamente idénticas: la proteína es la misma en ambas plantas. Es la expresión desigual del gen la causa de que la planta del maíz ramifique menos.

La modificación de la expresión de tb1 es ¿un ejemplo de cómo funcionan los *elementos-cis* ?, que en este caso es el resultado de mutaciones en sus secuencias regulatorias que se han encontrado en regiones cercanas al gen (justo al lado de la secuencia codificante) o muy alejadas de este. Parece que estas mutaciones se originaron de la actividad de un elemento transponible (como se les conoce técnicamente a los "genes saltarines" que brincan de un lugar a otro dentro de los genomas) que se insertó en medio de una secuencia regulatoria de tb1, cuya función era mantener bajos los niveles de expresión de este gen.

Algunos estudios indican que esta inserción precede a la domesticación del maíz. Esto implicaría que, entre las plantas silvestres de teocintle, debieron de existir algunas que mostraran mayor expresión de *tb1*. Los científicos piensan que éstas variedades fueron los ancestros del maíz que ahora conocemos. A la fecha, todavía se pueden encontrar este tipo de teocintles en las poblaciones silvestres.

En resumen, la aparición de una variante del teocintle con dominancia apical, fruto de cambios en la regulación de uno de sus genes, fue decisivo para que los mexicanos ancestrales domesticaran esta planta y la llevaran a ser el sustento de nuestra cultura. Tan grande fue su éxito, que los dioses eligieron al maíz por sobre todas las plantas para crear al ser humano.

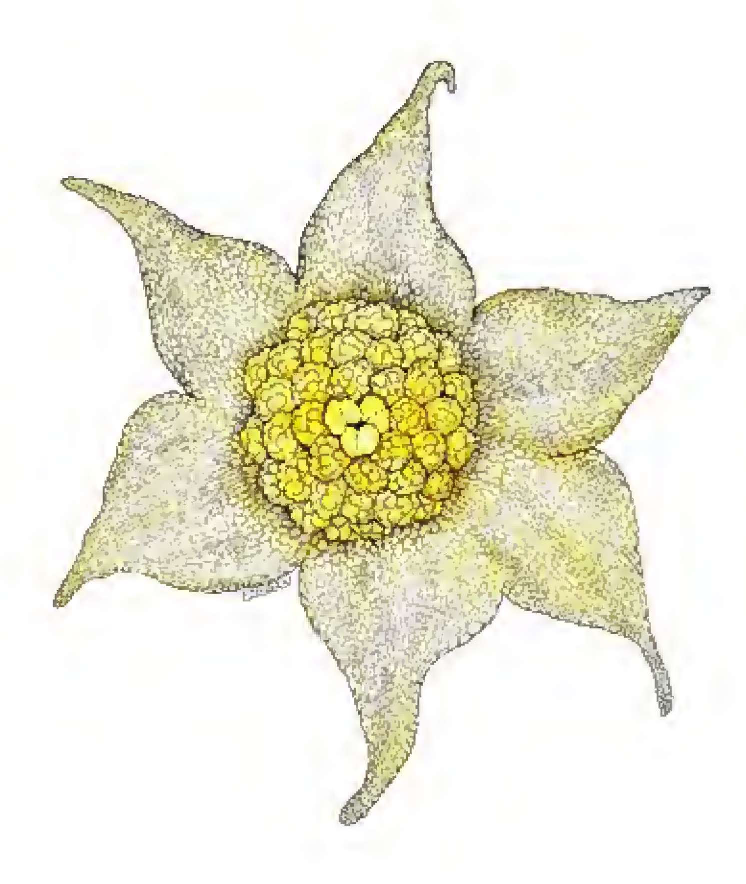
La promesa de un monstruo llamado *Lacandonia*

En los lugares más recónditos de la selva Lacandona, debajo de la espesa hojarasca, habita un monstruo diminuto. No tiene

garras feroces ni dientes afilados; tampoco está cubierto de escamas ni de un espeso y oscuro pelaje. Es más, no se parece a ningún animal sino que, por su coloración blancuzca y su forma peculiar, se asemeja mucho más a un hongo. Sin embargo, si uno observa con detalle, encontrará que es una planta. Se trata de *Lacandonia schismatica*, una especie hermafrodita con una característica única que la distingue del resto de las más de 250,000 angiospermas que se conocen.

La rareza de *Lacandonia* no radica en su ausencia de clorofila, en su capacidad de autofecundarse ni en el hongo que habita dentro de ella y la ayuda a alimentarse. Lo que la hace tan especial es su distintivo arreglo floral. La disposición de los órganos florales está muy conservada en todas las plantas, con los estambres en el centro y los carpelos en la periferia. Sin embargo, *Lacandonia* es la única planta en el mundo que tiene los órganos sexuales invertidos: cientos de carpelos femeninos rodean tres estambres masculinos.

Sin conocer la existencia de esta rareza, Richard Goldschmidt, genetista alemán naturalizado estadounidense, propuso en 1940 que podrían existir organismos como *Lacandonia* a los cuales nombró "monstruos prometedores" (conocidos también como "monstruos esperanzados"). Para Goldschmidt, la creación de ¿algunas? especies en la naturaleza no ¿solamente? podía explicarse por selección natural , porque ésta sólo actúa sobre la variación ya existente. Por ello planteó que las nuevas especies surgen por macromutaciones –que entendía como rearreglos cromosómicos o alteraciones en genes importantes durante el desarrollo–, las cuales provocan cambios notables en características observables. Goldschmidt predijo que este tipo de mutaciones serían desastrosas para la supervivencia de los organismos –ahora monstruosos– que las presentaran. Sin embargo, también predijo que de vez en cuando algunos de ellos se adaptarían a un nuevo estilo de vida con la promesa de crear una nueva especie.



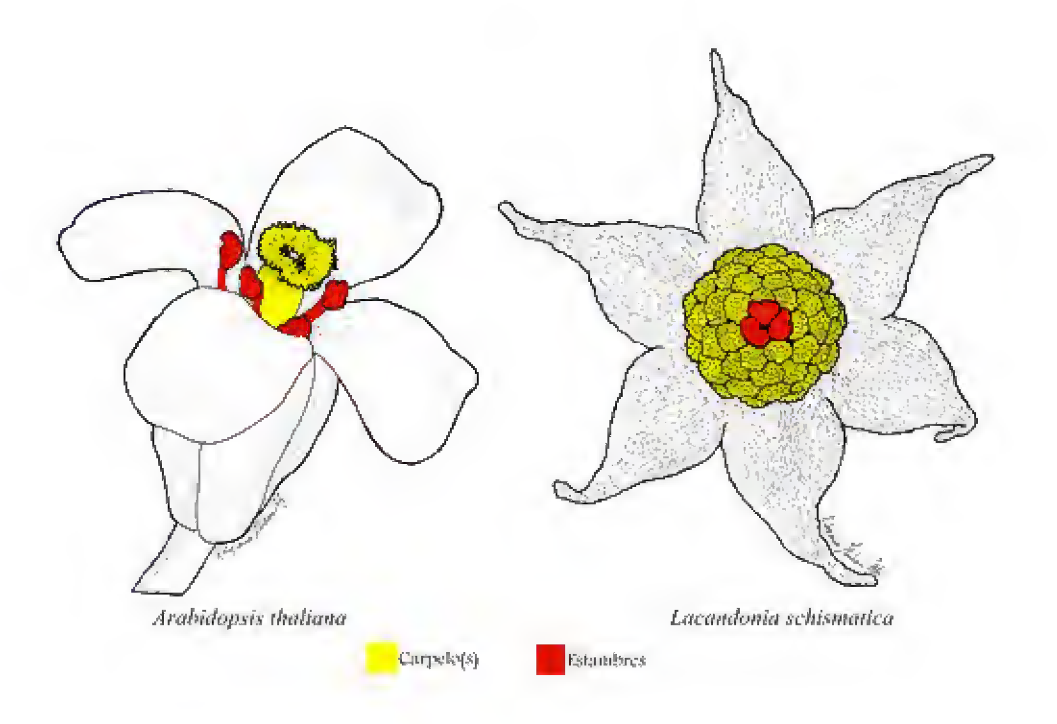
A diferencia de otras plantas, la flor de *Lacandonia schismatica* presenta sus órganos sexuales masculinos (estambres) en el centro mientras que los órganos sexuales femeninos (carpelos) los rodean. Seguramente, esta novedad evolutiva es resultado de un cambio en la expresión de un solo gen: APETALA3. Imagen E. Zluhan.

A más de 900 kilómetros de distancia de la selva Lacandona, en el Laboratorio de Genética Molecular, Desarrollo y Evolución de Plantas del Instituto de Ecología de la UNAM, hemos descubierto que *Lacandonia schismatica* bien podría ser un ejemplo de los monstruos prometedores con los que Goldschmidt fantaseaba. En 2010 se demostró en el laboratorio que en la flor de esta planta ha ocurrido el desplazamiento espacial de la expresión de un solo gen involucrado en la formación de los estambres, denominado APETALA3 (*AP3*), hacia el centro del meristemo floral (el tejido que dará origen a la flor). Hasta donde se sabe, en todas las demás especies de plantas con flores, ese gen nunca se expresa en esa zona del meristemo. Este cambio relativamente simple fue, desde la visión más "goldschmidtiana", lo que hizo de *Lacandonia* un monstruo. La planta, a su vez, ha cumplido su promesa, como lo indican los análisis de poblaciones que muestran que sus extraños rasgos predominan en las poblaciones naturales.

Para tratar de entender el origen de la monstruosidad en *Lacandonia* se ha planteado en el laboratorio que la regulación anómala de *AP3* se debe a: 1) mutaciones específicas en sus secuencias regulatorias (cambios en *cis*-), o 2) a alteraciones en la expresión de los factores de transcripción del gen (cambios en *trans*-).

Una forma de probar ambas hipótesis es intentar obtener flores de *Arabidopsis* con los órganos sexuales invertidos (a la manera de la flor de *Lacandonia*) alterando la expresión espacial de su gen *AP3*. Un primer intento fue provocar cambios en cis-? generando plantas transgénicas de Arabidopsis que combinaran las secuencias codificantes del gen *AP3* de esta planta y las secuencias regulatorias del mismo gen, pero de *Lacandonia*. Si la secuencia regulatoria de *AP3* de Lacandonia fuera la responsable de dirigir su expresión al centro de la flor, las plantas transgénicas de Arabidopsis desarrollarían estambres centrales. Sin embargo, eso no fue lo que pasó: las flores de *Arabidopsis* con los genes de Lacandonia no invirtieron sus órganos sexuales. En otras palabras, no logramos crear monstruos.

Nuestros resultados nos llevaron a mirar a nuestra segundo plantemiento: el mecanismo responsable de los monstruos florales, entonces, muy probablemente sea un



Comparación anatómica entre las flores de *Arabidopsis* y *Lacandonia schismatica*. Imagen E. Zluhan



cambio en trans-, como la alteración de la expresión de los factores de transcripción que regulan al gen *AP3* de *Lacandonia*. Nuestro laboratorio, en colaboración con grupos extranjeros, está poniendo a prueba esta segunda hipótesis.

Desafortunadamente, Goldschmidt no vivió para ver este tipo de evidencias que apoyan su teoría. Sin embargo, cincuenta años después de su muerte seguimos descubriendo que los monstruos prometedores llegaron para quedarse. Nosotros tenemos la suerte de conocer uno muy especial, escondido en las profundidades de la frondosa selva lacandona.

*Le agradecemos a la Dra. Elena Álvarez-Buylla y a la Dra. Adriana Garay por sus valiosas correcciones y sugerencias.

Para saber más

- Entrevista con James Watson: Jaroff, L. 1989. The gene hunt. *TIME*. 133: 62-67.
- Artículo original sobre la dominancia apical en el maíz: Doebley, J., Stec, A. y Hubbard L. 1997. The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386: 485-488.
- Artículo de Mary-Claire King y Alan Wilson: King M.C. y Wilson A. 1975. Evolution at two levels in humans and chimpanzees. *Science*, 188: 107-116.
- Artículo de Lacandonia: Álvarez-Buylla, E.R., Ambrose, B.A., Flores-Sandoval, E., Englund, M., Garay-Arroyo, A., García-Ponce, B., de la Torre-Bárcena, E., Espinosa-Matías, S., Martínez, E., Piñeyro-Nelson, A., Engström P., y Meyerowitz, E.M. 2010. B-function expression in the flower center underlies the homeotic phenotype of Lacandonia schismatica (Triuridaceae). *The Plant Cell*, 22(11): 3543-3559.
- Discurso de Goldschmidt: Goldschmidt, R. 1933. Some aspects of evolution. *Science*, 78: 539-547.
- Estado del arte de la investigación sobre Lacandonia: Garay-Arroyo, A., Piñeyro-Nelson, A., García-Ponce, B., Sánchez Jiménez, M. y Álvarez-Buylla, E. R. 2012. When ABC becomes ACB. *Journal of Experimental Botany*, 63: 2377-2395.
- Artículo de revisión sobre la regulación transcripcional y la evolución: Wray, G.A., Hahn, M.W., Abouheif, E., Balhoff, J.P., Pizer, M., Rockman, M.V. y Romano, L.A. 2003. The evolution of transcriptional regulation in eukaryotes. *Molecular Biology and Evolution*, 20(9): 1377-1419.

Emiliano Rodríguez Mega es tesista de licenciatura en el Instituto de Ecología de la UNAM. Le interesa la evolución del desarrollo y la divulgación de la ciencia. Le gustan las plantas, los zombis y los dinosaurios.

Víctor Rogelio Hernández Marroquín es biólogo por la Facultad de Ciencias de la UNAM. Cursó la Maestría en Ciencias Biológicas en el Instituto de Ecología. Actualmente, imparte clases de filosofía e historia de la biología en la misma facultad.



Reseña de Libro

Delgado, G.C., C. Gay, I. Imaz y M.A. Martínez (coordinadores). 2010. *México frente al cambio climático. Retos y oportunidades*. **UNAM. México. 240 pp. ISBN. 978-607-02-1879-8.**

El 12 de octubre de 1995 se difundió la noticia de que el Dr. Mario Molina, químico formado en la UNAM y expatriado a los Estados Unidos, recibía el premio Nobel de química junto con Sherwood Rowland y Paul Cruzen. El premio se les otorgaba por su trabajo para entender las reacciones químicas de los halógenos en la estratósfera. Gracias a estas investigaciones, fue posible identificar el deterioro de la capa de ozono e históricamente se logró uno de los primeros acuerdos internacionales para suspender el uso de ciertas substancias químicas que afectaban al ambiente: el protocolo de Montreal. El deterioro de la capa de ozono fue una de las primeras señales de alerta de que nuestras actividades estaban afectando al planeta que nos sostiene.

En los albores del siglo XXI, la evidencia ya es contundente y, de acuerdo con C. Conde en su capítulo El cambio climático. De lo inequívoco a lo incierto, hoy podemos decir, con un 90% de confianza, que "el calentamiento global observado se está desarrollando desde el siglo xx de manera inequívoca, y que éste está asociado a las acciones humanas…". Esta evidencia es el resultado de años de trabajo que han involucrado a científicos de todo el mundo, en un esfuerzo intelectual nunca antes visto en la historia de la humanidad. Sin embargo, he escuchado que la gente todavía dice que "los investigadores no se ponen de acuerdo sobre el cambio climático" que, al margen, es evidencia de la falta de comunicación entre científicos y sociedad. Aún así, es un tema recurrente en los noticieros, especialmente cuando ciertos fenómenos naturales ocasionan desastres que tienen grandes costos económicos y sociales. El cambio climático, muchas veces equivocadamente considerado sinónimo de calentamiento global, es un fenómeno que se investiga desde diferentes puntos de vista y en todas las regiones del mundo. En la UNAM el Programa de Investigación en Cambio Climático (PINCC) es una instancia que establece, "de manera integrada, la agenda de investigación en cambio climático para nuestro país…" y parte de su trabajo da como resultado la obra que aquí nos ocupa.

El libro México frente al cambio climático: retos y oportunidades, fue coordinado por Gian Carlo Delgado, del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), Carlos Gay del PINCC, Mireya Imaz del Programa Universitario del Medio Ambiente y María Amparo Martínez del Centro de Ciencias de la Atmósfera (hoy presidenta del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). La obra está dividida en 11 capítulos escritos por 16 expertos de diversas instituciones de México, y es una muy



buena aportación para entender sobre el tema para nuestro país. Los capítulos del libro abordan el cambio climático desde diversos puntos de vista, por ejemplo conflictos sociales, ordenamiento territorial, recursos hídricos, salud, adaptación en ciudades, turismo y desarrollo sustentable, entre otros. En particular me llama la atención que, a pesar de que en el capítulo introductorio C. Conde menciona que la quema de combustibles fósiles y la deforestación (que es un proceso de cambio en el uso del suelo) son de las principales causas del calentamiento global, realmente no se aborda el tema de la deforestación a fondo en ninguno de los capítulos que le siguen y mucho menos se discute la importancia de la biodiversidad, los servicios ambientales que provee y la imperiosa necesidad de mantener ecosistemas sanos. Sin embargo, me parecen especialmente valiosos los capítulos de U. Oswald Spring, B. Jiménez e I. Navarro, y O. Macera y coautores, ya que

reconocen la necesidad de lograr un desarrollo sustentable y más armónico con la naturaleza. Por ejemplo, Oswald Spring menciona "en México, la reducción de riesgos a largo plazo se finca en una interacción positiva entre los sistemas naturales como agua, suelos…", señal de que el manejo y cuidado de los recursos naturales está dejando de ser una preocupación exclusiva de los biólogos.

El libro tiene muchos datos estadísticos y muy valiosos. En especial me llamó la atención el capítulo de G. C. Delgado, ya que es un compendio práctico de información estadística sobre diversas ciudades, con muchos ejemplos de la Ciudad de México. Los datos incluidos en ese capítulo deben alertarnos a que, con cambio climático o sin él, debemos cambiar, como individuos y sociedad, nuestros hábitos de vida y buscar que las políticas públicas sean más armónicas con el entorno natural. Por ejemplo, menciona que "En cuanto alimentos, el consumo semanal per capita en México se estima entre 28 y 36 kilos dependiendo de los ingresos familiares. El flujo anual de alimentos se ubica entonces entre 1.4 y 1.9 toneladas al año por persona, algo así como unas 31 a 42 millones de toneladas de alimentos al año para cubrir las necesidades de la población de la zona metropolitana." Es indudable que esta demanda será difícil de abastecer en el largo plazo, especialmente si las tierras en donde se producen nuestros alimentos están cada vez más deterioradas o han sido convertidas a centros urbanos, como es el caso de la región chinampera de lagos como Xochimilco.

A pesar de lo apremiante y grave de la crisis que implica el cambio climático, es alentador que varios autores dan propuestas para dirigir esfuerzos o solucionar directamente la problemática que abordan en su capítulo o a nivel global. Por ejemplo, O. R. Masera y coautores, inician hablando sobre la necesidad de que ya se tomen medidas para mitigar y adaptarse al cambio climático. Claramente indican que "existen suficientes opciones para el corto y mediano plazo para enfrentar esta crisis" y la necesidad de trabajar sobre una estrategia integral que "considere simultáneamente acciones de adaptación y mitigación." En particular señalan la urgencia de transitar hacia un desarrollo que dependa de fuentes de energía renovables y agricultura agroecológica, así como la necesidad de conservar y usar de manera sustentable nuestros bosques y selvas.

No cabe duda que los problemas que traerá el cambio climático requieren, como dice G. C. Delgado, "de la iniciativa, el compromiso y la imaginación colectiva necesaria para cubrir los objetivos sociales"; pero al mismo tiempo buscar las "soluciones específicas susceptibles de realizarse en un contexto de justicia social". El cambio climático nos está dando una razón para repensar como sociedad, nuestra relación con nuestro entorno natural. La versión impresa de México frente al cambio climático tiene un costo de $220. El pdf se puede descargar del portal del CEIICH, pero tiene el grave problema de que muchas figuras y cuadros están mal impresos y con letras tan pequeñas que son casi imposibles de leer, incluso para un ojo sin lentes y extremadamente miope como el mío. Entonces, por ejemplo, en la figura 3 de la página 20 el complejo contenido del mapa es casi ilegible y lo mismo sucede con las letras de figuras de las páginas 83, 88, 89 y 98. Cada capítulo está respaldado por una amplia bibliografía, aunque en algunos faltan referencias y hay detalles de redacción que entorpecen la lectura.

El libro *México frente al cambio climático* es una buena herramienta para buscar el camino que nos ayude a lograr un país que pueda enfrentar la crisis ambiental manifiesta con el cambio climático.

Dra. Clementina Equihua Zamora. Asistente editorial, es biologa y doctora de la Facultad de Ciencias, UNAM. Como divulgadora de la ciencia ha colaborado en proyectos museográficos para el Museo UNIVERSUM y el Museo Interactivo de Economía (MIDE). Su trabajo editorial incluye publicaciones en revistas arbitradas, de divulgación y periódicos. Actualmente coordina la Unidad de Divulgación y Difusión del Instituto de Ecología.



El IV Congreso de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología

Ana Laura Lara y Miguel Equihua Zamora

En Marzo del 2013, la Sociedad Científica Mexicana de Ecología (SCME) tuvo su Congreso Nacional en Villahermosa, Tabasco. Con una temperatura ambiente de alrededor de 40°C y una igualmente cálida y entusiasta participación de investigadores y estudiantes. La SCME tiene actualmente su casa en las instalaciones de la Academia Mexicana de Ciencias en la Ciudad de México, pero su Consejo Directivo puede ubicarse en cualquier parte de la República Mexicana. Los socios fundadores fueron 186 personas y actualmente cuenta ya con más de 1,000 que provienen de aproximadamente 91 instituciones de todos los estados del país y de otras partes del mundo como Australia, Brasil, Canadá, Costa Rica, España, Estados Unidos de Norteamérica, Francia, Países Bajos y Venezuela.



La SCME busca reunir a los ecólogos mexicanos involucrados en actividades relacionadas con la generación de conocimiento. Como tal, se propone promover la investigación de la ciencia de la ecología en todas sus disciplinas, fortalecer la comunicación entre los ecólogos y con el resto de la sociedad así como promover la difusión del conocimiento científico. Como parte de estos propósitos a la SCME le interesa también fomentar una comunicación amplia y responsable con las autoridades estatales y federales mexicanas involucradas en los amplios temas del cuidado ambiental y la conservación de la biodiversidad de México.

Entre las actividades que realiza la Sociedad destaca la de organizar reuniones científicas sobre temas relacionados con el quehacer en ecología. En los ocho años de vida de la Sociedad se ha realizado el "*Congreso Mexicano de Ecología*" en las siguientes ciudades: Morelia, Michoacán, 2006; Mérida, Yucatán, 2008; Boca del Río, Veracruz, 2011 y ahora el de Villahermosa.

La sede fue la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Se realizó del 18 al 22 de marzo. Los eventos y reuniones del Congreso se llevaron a cabo en la Zona Cultural de la UJAT. El Congreso recibió 1,072 resúmenes de trabajos que se organizaron para su discusión en 28 ejes temáticos. Se organizaron 23 simposios con 150 presentaciones, se realizaron 485 presentaciones orales y se expusieron 437 carteles.





El tema del magno evento fue "*Conocimiento ecológico para la toma de decisiones*" pues los organizadores encontraron oportuno invitar a la comunidad ecológica mexicana a reflexionar sobre la urgencia de encontrar maneras de hacer que el conocimiento científico sea utilizado para identificar opciones que nos pueden conducir a un desarrollo ambientalmente sustentable. Aunque este fue el tema principal, desde luego también se discutieron otros contenidos de interés para los ecólogos. Una muestra de la temática que se discutió la ilustran las seis conferencias magistrales que se impartieron durante el Congreso, las que abordaron los siguientes asuntos:

El efecto del contexto ambiental en el devenir de las interacciones bióticas en el paisaje natural y antrópico, impartida por el Dr. Rodolfo Dirzo de la Universidad de Standford, Center for Latin American Studies.

Cómo pueden los ecólogos desarrollar el conocimiento apropiado para la toma de decisiones, impartido por la Dra. Virginia Dale del Oak Ridge National Laboratory.

La implacable evolución y coevolución, por el Dr. John N. Thompson de la University of California / Santa Cruz.

A partir de la proporción de sexos en los cromosomas sexuales: perspectivas ecológicas y genéticas en fresa dioicas, dictada por Tia-Lynn Ashman de la University of Pisttsburg, Department of Biological Sciences.

Ecología y gobierno, o ¿puede la ciencia incidir en las decisiones del desarrollo, impartida por el Dr. Exequiel Ezcurra de la University of California – Riverside, Department of Botay and Plant Sciences.

Servicios Ambientales y sustentabilidad para el bienestar humano, presentada por el Dr. Robert Costanza de la Australian National University, Crawfird School of Public Policy.

Todas ellas contaron con una amplia audiencia y resultaron muy inspiradoras para el quehacer ecológico. Sirvieron también para discutir los temas que están actualmente en la frontera del conocimiento en la investigación mundial y que resultan de interés para los científicos mexicanos.

Con el propósito de motivar la investigación en ecología y fomentar la participación activa de los estudiantes, la SCME convocó al concurso en el que se distinguieron, las mejores tesis, así como los mejores carteles y presentaciones orales preparados por estudiantes de Licenciatura, Maestría y Doctorado. Se premiaron 27 de estos trabajos que abarcaron muy diversos temas desde, por ejemplo, la Biología reproductiva de la planta de algodón *Gossypium hirsutum* en poblaciones silvestres (Diana Paola Peña González, de la UNAM) hasta el Conocimiento y grado de protección de la biodiversidad de reptiles en Michoacán (Bisbrian Alheli Nava González, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo).

Fue muy interesante constatar que con cada congreso se amplían las líneas temáticas del conocimiento ecológico que los estudiosos proponen para discutir en estos eventos. Tal es el caso de los simposios donde se abordaron tópicos como el de los anfibios en México, manejo de sistemas socio-ecológicos, impacto ambiental en carreteras, ecología de las enfermedades en vida silvestre, las estrategias que pueden adoptarse para hacer realidad la sustentabilidad, Interacciones tierra-océano-atmósfera del ciclo del carbono, cícadas (estudios poblacionales y desafíos de conservación) o ecología de los cocodrilos entre otros temas.

Por otra parte, la Sociedad Mexicana de Ecología por primera vez en su historia otorgó la *Medalla al Mérito Ecológico* en reconocimiento a la labor en el impulso al desarrollo de la ecología en México. Los homenajeados con este reconocimiento fueron: Dr. Arturo Gómez Pompa, Dr. Gonzalo Halffter Salas y Dr. José Sarukhán Kermez. Los tres constituyen las fuertes raíces sobre las que crece actualmente el árbol del conocimiento de la ecología, concepto que se imprimió en la Medalla al Mérito Ecológico diseñada por los creativos Per Anderson y Arturo Piña. Esta emblemática pieza tiene en una de sus caras una ceiba, árbol sagrado en las culturas prehispánicas de Mesoamérica. Entre muchas razones para reconocer a estos tres eminentes ecólogos, resalta el que cada uno de ellos ha sido



fundador de instituciones académicas que realizan investigación científica para el avance del conocimiento y la conservación de la diversidad biológica de México.

Con todo esto resultó muy grato asistir al ampliamente concurrido IV Congreso en el que socios y no socios por igual, lo mismo que estudiantes e invitados. Tuvimos la oportunidad de celebrar a los tres pilares de la ecología en México y ser testigos del crecimiento, consolidación y efervescencia actual de la ecología nacional.



Ana Laura Lara Domínguez, bióloga de la UNAM trabaja en el Instituto de Ecología en la Red de Ecología Funcional. Mi campo de estudio es en ecología de lagunas costeras particularmente en comunidades de peces y manglares. Actualmente estoy trabajando en manglares a lo largo del estado de Veracruz y en un proyecto de rehabilitación hidráulica en manglares con deterioro crónico.

Miguel E. Equihua Zamora es biólogo de la UNAM y doctor de la Universidad de York, Inglaterra. Es investigador titular del Instituto de Ecología, AC. Actualmente trabaja en el desarrollo de modelos de simulación para describir procesos dinámicos complejos que emergen del comportamiento de las especies en los ecosistemas.







Septiembre 2013 No. 9

Contenido